



止於至善

第一篇 变 压 器 之

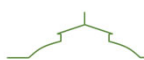
第三章

三相变压器及运行







東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU



第三章 三相变压器及运行




- 三相变压器的磁路
- 三相变压器的连接组
- ~~三相变压器绕组连接法及其磁路系统对电动势波形的影响~~
- 变压器的并联运行



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

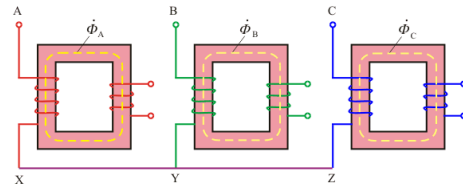
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>



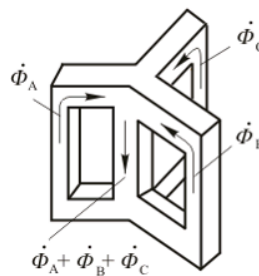
1. 三相变压器的磁路

➤ 磁路系统

- 各相磁路彼此独立



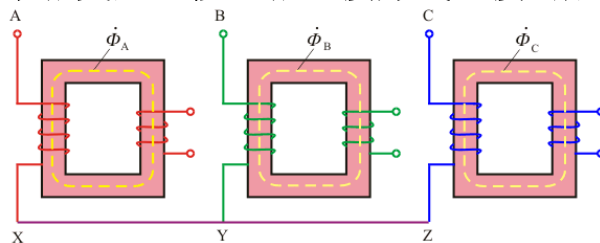
- 各相磁路彼此相关



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

I. 各相磁路彼此独立

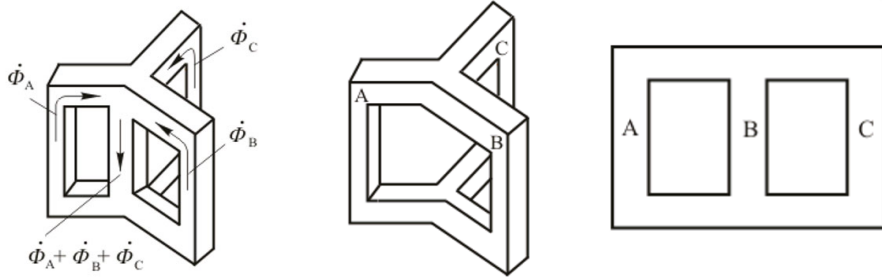
- 各相主磁通以各自铁芯作为磁路
 - 铁芯独立，磁路不关联
- 各相磁路的磁阻相同，当三相绕组接对称的三相电压时，各相的励磁电流和磁通对称
- 由三台完全相同的单相变压器按三相连接方式连接而成，组成三相变压器组



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

三相变压器组的磁路系统

II. 各相磁路彼此相关



- 通过中间三个芯柱的磁通等于三相磁通的总和
- 当外施电压为**对称**三相电压，三相磁通也**对称**，其总和 $\dot{\Phi}_A + \dot{\Phi}_B + \dot{\Phi}_C = 0$ ，即在任意瞬间，**中间芯柱磁通为零**
- 在结构上省去中间的芯柱



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

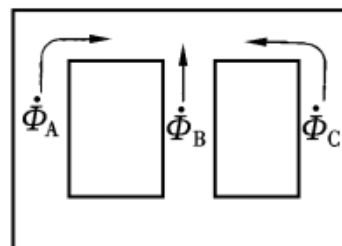
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

II. 各相磁路彼此相关

- 三相铁心**互不独立**
- 三相磁路**互相关联**
- **中间相的磁路较短**，令外施电压为对称三相电压，三相励磁电流也不完全对称

中间相励磁电流较其余两相为小？

- 与**负载**电流相比，**励磁**电流很小，如负载对称，**三相电流基本对称**



中间相磁路短，磁阻小，磁导大， x_m 大，励磁电流较小



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

2. 三相变压器的连接组

- 用大写字母 **A、B、C** 表示**高压**绕组的首端，用 **X、Y、Z** 表示**高压**绕组的**末端**
- 用小写字母 **a、b、c** 表示**低压**绕组的首端，用 **x、y、z** 表示**低压**绕组的**末端**
- **高压边**：首端(头) **A B C** 末端(尾) **X Y Z**
- **低压边**：首端(头) **a b c** 末端(尾) **x y z**
- 不论是高压绕组或是低压绕组，国家标准规定只采用**星形接法 Y** 或**三角形接法 D**

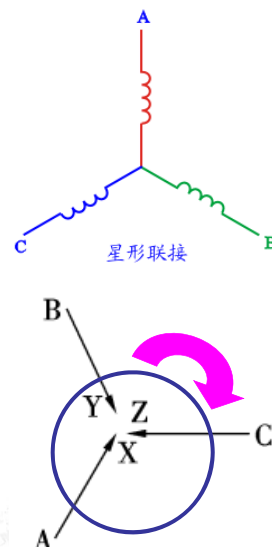


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

I-1. 星形接法

- 把三相绕组的三个**末端**连在一起，而把它们的首端引出
- 以字母 **Y** 表示
- **顺时针**方向：**A、B、C**互差 **120°**

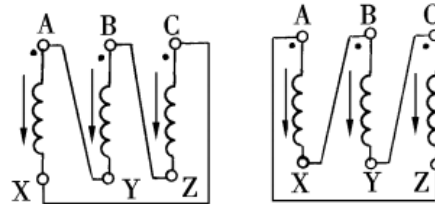


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

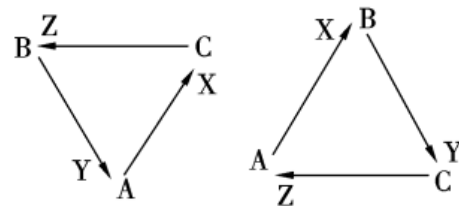
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

I-2. 三角形接法

- 把一相的**末端**和另一相的**首端**连接起来，顺序连接成一闭合电路



- 以字母 **D** 表示
- 两种连接顺序
 - AX--CZ--BY
 - AX--BY--CZ



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

II. 连接组别及标准连接组

绕组接法表示

- ① Yy 或 YNy 或 Yyn;
- ② Yd 或 YNd;
- ③ Dy 或 Dyn;
- ④ Dd。

- 高压绕组接法**大写**，低压绕组接法**小写**，字母**N、n**是**星形**接法的**中点**引出标志



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

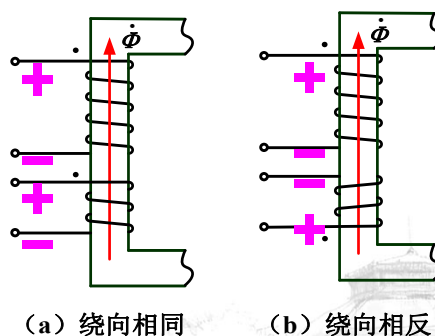
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

10

II. 连接组别及标准连接组

- **连接组别**：表示一次和二次绕组**电动势**相位关系
- **同极性端**：两个**正极性**相同的对应端点

- 初级、次级绕组由同一磁通交链，在某一瞬间高压绕组的某一端为**正电位**，低压绕组上也必定有一个端点的电位也为**正**
- 在绕组旁边用符号“.”表示



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

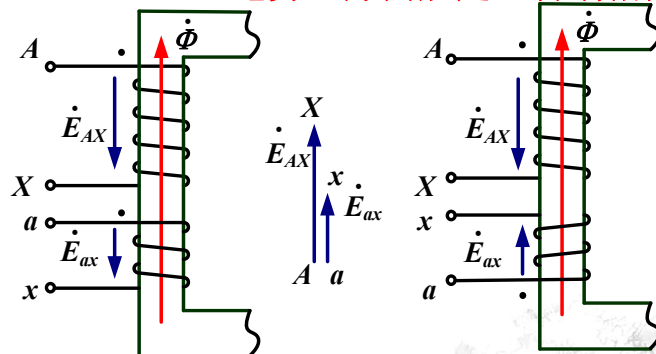
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

11

II. 连接组别及标准连接组

同极性端相同首端标志

- 标有同极性端符号“.”的一端作为**首端**
- 次级电势 \dot{E}_{ax} 与初级电势 \dot{E}_{AX} 同相位
(电势正方向规定：首端指向末端)



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

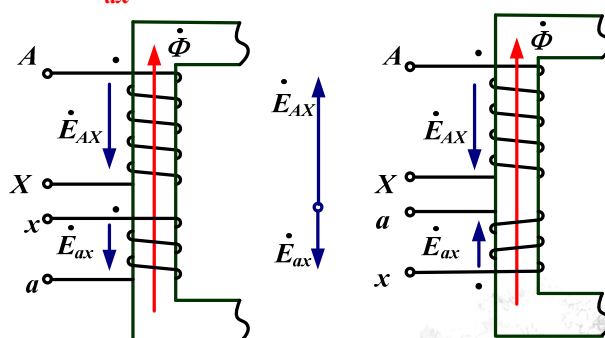
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

12

II. 连接组别及标准连接组

同极性端相异首端标志

- 把初级绕组标有“.”号的一端作为首端，在次级绕组标有“.”号的一端作为末端
- 次级电势 \dot{E}_{ax} 与初级电势 \dot{E}_{AX} 反相



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

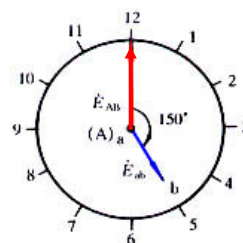
13

II-1. 单相变压器连接组别

单相变压器连接组的时钟表示法

- 高压电动势看作时钟的长针：
固定指向时钟12点(或0点)
- 低压电动势看作时钟的短针：

短针所指时数作为绕组的组号



- 同极性端相同首端标志：初级、次级电势相位差为零度，用时钟表示法为 **Ii0**
- 同极性端相异首端标志：初级、次级电势相位差为180°，用时钟表示法为 **Ii6**
- I**, **i** 分别表示初级、次级都是单相绕组，**0** 和 **6** 表示组号。单相变压器的标准连接组 **Ii0**



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

14

II-2.三相变压器连接组别

- 用初级、次级绕组的**线电势**相位差来表示
- 与绕组的**接法**和绕组的**表示方法**有关



已知接法，判明组别：

1. 画出高压侧绕组**相电势**、**线电势**
2. 根据接法，画出低压侧绕组**相电势**、**线电势**
3. 根据高、低压**线电势**的相位差，判别组别(例如：

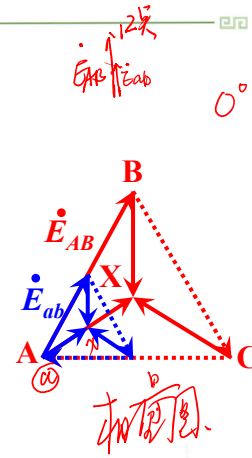
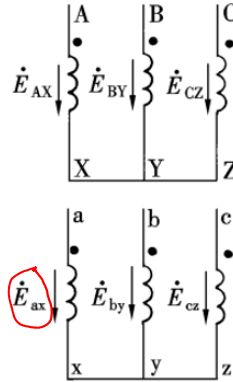
\dot{E}_{AB} 、 \dot{E}_{ab} 间相位差)



A. Yy连接

1、Yy0

- 同极性端**相同**首端标志
- 初级、次级相电势**同相位**，次级侧线电势 \dot{E}_{ab} 与初级侧线电势 \dot{E}_{AB} 同相位



注：绕组画在同一列上，表示绕在相同的铁芯柱上，
即有相同的主磁通及其变化。下同。



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

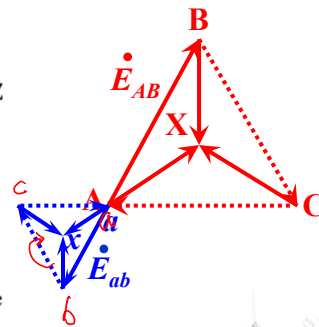
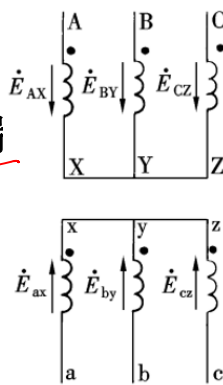
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

17

A. Yy连接

2、Yy6

- 同极性端**相异**首端标志
- 次级侧线电势 \dot{E}_{ab} 与初级侧线电势 \dot{E}_{AB} 相位差 180°



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

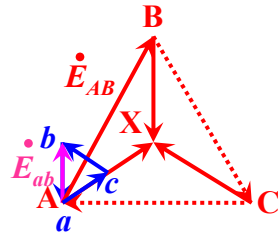
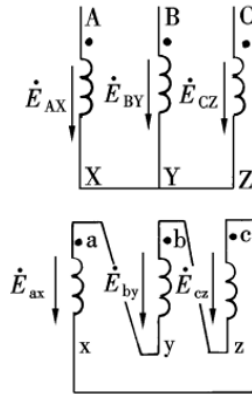
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

18

B. Yd连接

3、Yd11

- 次级侧线电势 \dot{E}_{ab} 超前
初级侧线电势 \dot{E}_{AB} 相位
 30°



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

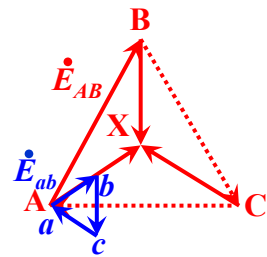
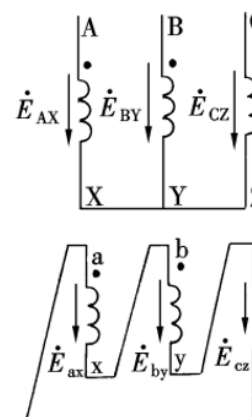
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

19

B. Yd连接

4、Yd1

- 次级侧线电势 \dot{E}_{ab} 滞后
初级侧线电势 \dot{E}_{AB} 相位
 30°

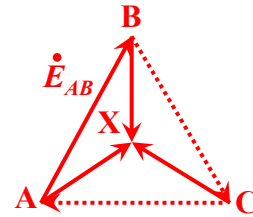
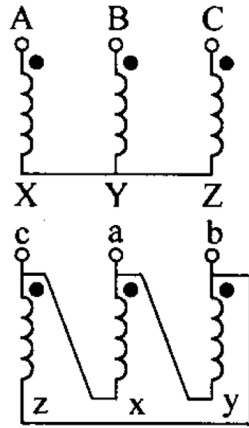


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

20

补充举例1:



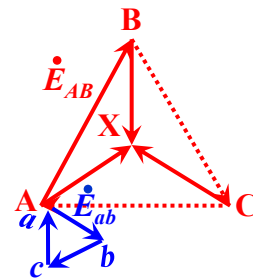
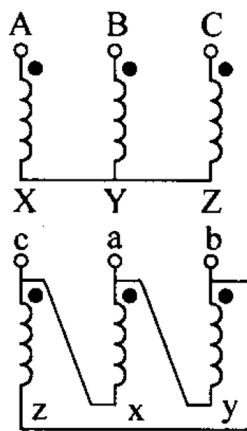
东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

21

补充举例1:

Yd3



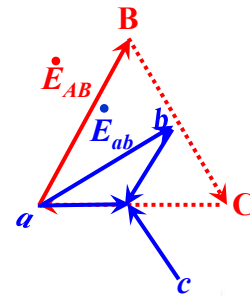
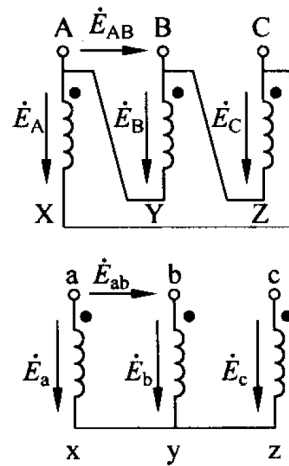
东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

22

补充举例2:

Dy?



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

23

C. 标准组别

- 五种**标准**连接组：① **Yyn0**；② **Yd11**；
③ **YNd11**；④ **YNy0**；⑤ **Yy0**
- **YN**—**高压侧**的中点可以直接接地或通过阻抗接地
- 对不同的应用场合，使用不同的标准组别



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

24

D. 已知组别，画接线图：

1. 画出原方绕组的连接图
2. 画出原方电势相量三角形，标出 **AX, BY, CZ**
3. 画出副方电势相量三角形，据连接组别，标出 **ax, by, cz**
4. 在相量图中，同相位的绕组在同一铁芯柱上，注意同极性端
5. 连接副方绕组



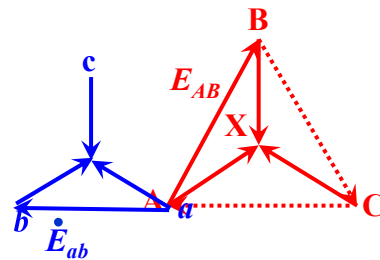
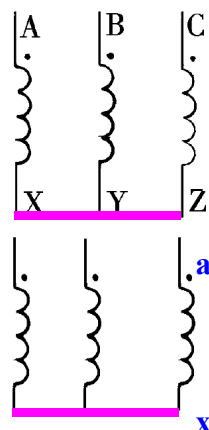
東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

25

已知组别，画接线图：

Yy8



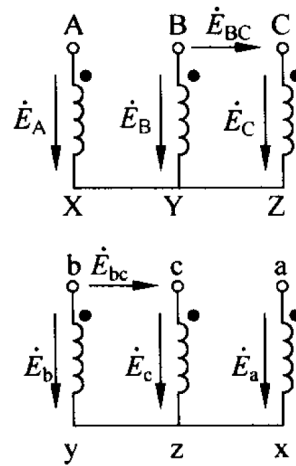
東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

26

已知组别，画接线图：

Yy8连接图



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

27

3. 绕组连接法及其磁路系统对电势波形的影响

- 由于磁路饱和，磁化电流是尖顶波，分解为基波分量和各奇次谐波（三次谐波最大）
- 在三相系统中，三次谐波电流在时间上同相位，能否流通与三相绕组的连接方法有关
- 分析三次谐波电流不能流通所产生的影响

$$i_{\mu 3A} = I_{\mu 3m} \sin 3\omega t$$

$$i_{\mu 3B} = I_{\mu 3m} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_{\mu 3m} \sin 3\omega t$$

$$i_{\mu 3C} = I_{\mu 3m} \sin 3(\omega t + 120^\circ) = I_{\mu 3m} \sin 3\omega t$$



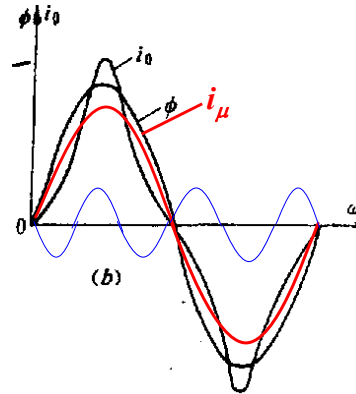
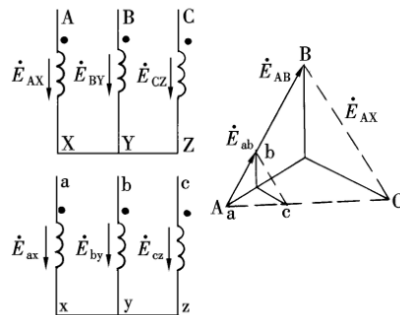
東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

28

I. 三相变压器组Yy连接

- 初级为 **Y** 连接，励磁电流中所必需的**三次谐波**电流分量**不能流通**
- **磁化电流正弦形**



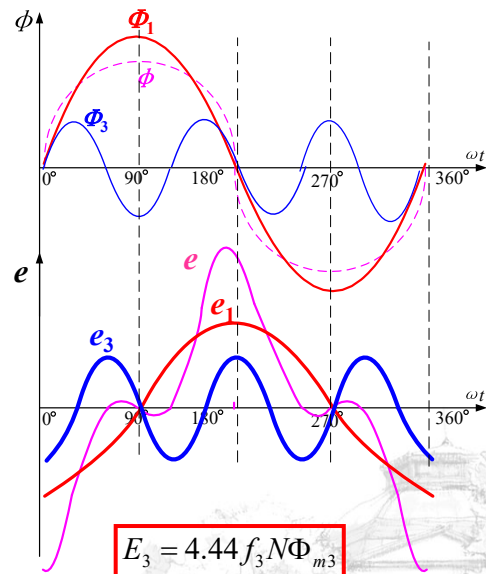
东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

29

I. 三相变压器组Yy连接

- **磁通**近似于**平顶波**
- 高次谐波中以**三次谐波**磁通幅度最大
- 三次谐波磁通与基波磁通有相同磁路，其磁阻较小，三次谐波电势相当大，其振幅可达基波振幅的**50%-60%**
- 导致**电势波形严重畸变**，所产生的**过电压**有可能危害线圈绝缘
- **规定：三相变压器组不能接成Yy运行**



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

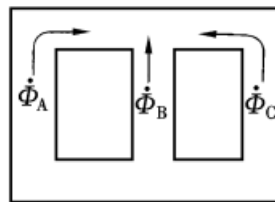
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

30

II. 三相铁芯式变压器Yy连接

- 三次谐波电流不能流通
- 三次谐波磁通存在
- 磁路特点：

三相铁芯式变压器的三相磁路彼此相关，各相的三次谐波磁通在时间上是同相位。



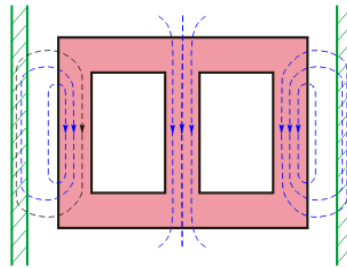
东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

31

II. 三相铁芯式变压器Yy连接

- 三次谐波磁通路径：铁芯周围的油、油箱壁和部分铁轭
- 特点：磁阻较大，三次谐波磁通及其三次谐波电势很小
- 磁通接近正弦，相电势接近于正弦波形，可接成Yy
- 三次谐波磁通经过油箱壁，在其中感应电势，产生损耗，会引起油箱壁局部过热
- 三相铁芯式变压器接成Yyn，容量限制在1800kVA以下



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

32

小 结

- 磁路系统分为各相磁路彼此**独立**的**三相变压器组**和各相磁路彼此**相关**的**三相铁芯式变压器**
- 初级绕组、次级绕组，可以接成**星形**，也可以接成**三角形**
- 初级、次级侧对应**线电势**(或电压)间的相位关系与绕组**绕向**、**标志**和三相绕组的**连接方法**有关。其相位差均为**30°**的倍数，通常用**时钟表示法**来表明其**连接组别**
- 不同磁路结构和不同连接方法的三相变压器，其**励磁电流**中的**三次谐波分量**流通情况不同
- **Y** 或 **D** 型接法在**线电势**中都不存在**三次谐波分量**



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

33

思考题提示

- 3-1 连接组的决定因素
与绕组的**接法**和绕组的**标志方法**有关
- 3-3 三相变压器组不能使用 **Yy** 连接
三次谐波电势使**相电势**畸变，且**峰值过高**
- 3-4 大容量变压器不接成 **Yy**
三次谐波磁通经过油箱壁产生**漏磁损耗**
- 3-6 三相变压器组 **Yy** 连接，线电势中无**三次谐波**



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

34

作 业

- 习题： p. 58: 3-1~3-2
- 注：画在同一列上，表示绕组绕在相同的铁芯柱上，
即有相同的主磁通及其变化
- 要求：
 1. 按时交作业，过期不改；
 2. 书写认真，文字整齐，免抄题目，用直尺作图；
 3. 数据精确到小数点后两位；

